

【補助事業概要の広報資料】

補助事業番号 23-145

補助事業名 平成23年度 高機能ポラスアルミニウム作製技術 補助事業

補助事業者名 芝浦工業大学 先端工学研究機構 教授 宇都宮登雄

1 補助事業の概要

(1) 事業の目的

ポラスアルミニウムは超軽量で比剛性が高く、エネルギー吸収特性や吸音特性に優れた材料で、自動車等の運輸機器ばかりでなく様々な工業分野で衝撃吸収材、吸音材、断熱材、また部品軽量化の材料として利用が期待されている。しかしながら、主として作製プロセスにおける低コスト化が技術的に困難であることが障壁となって実用化には至っていない。

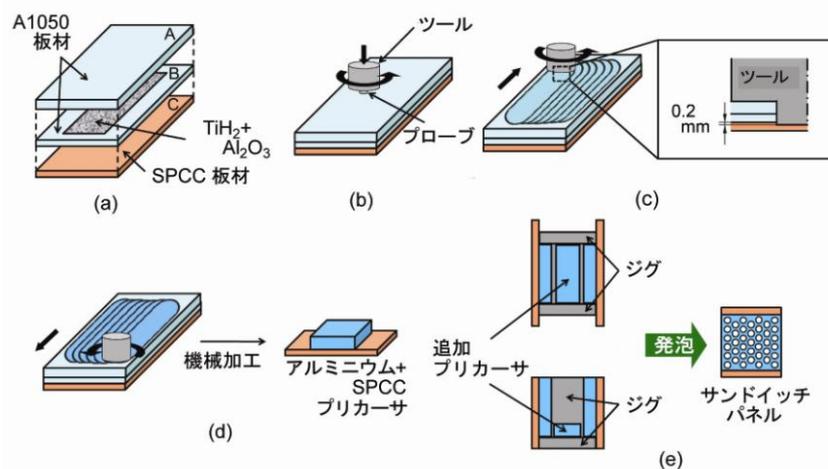
申請者らは、平成20年に、摩擦攪拌接合 (Friction Stir Welding, 以下FSWと記す) を利用した低コスト化と省エネルギー生産が可能な革新的ポラスアルミニウムの作製法を考案した。本事業では、ポラスアルミニウムの実用化を進めるため、FSWを利用した本作製法を用いて、ポラスアルミニウム構造体の作製技術、ポラス複合部材の作製技術を構築する。さらにポラスアルミニウムの特性を保証するための評価技術への展開を図る。

(2) 実施内容

本事業では、ポラス構造体の製造技術や評価法として以下の事項を行った。

① 緻密鋼板とポラスアルミニウムのサンドイッチパネル作製技術

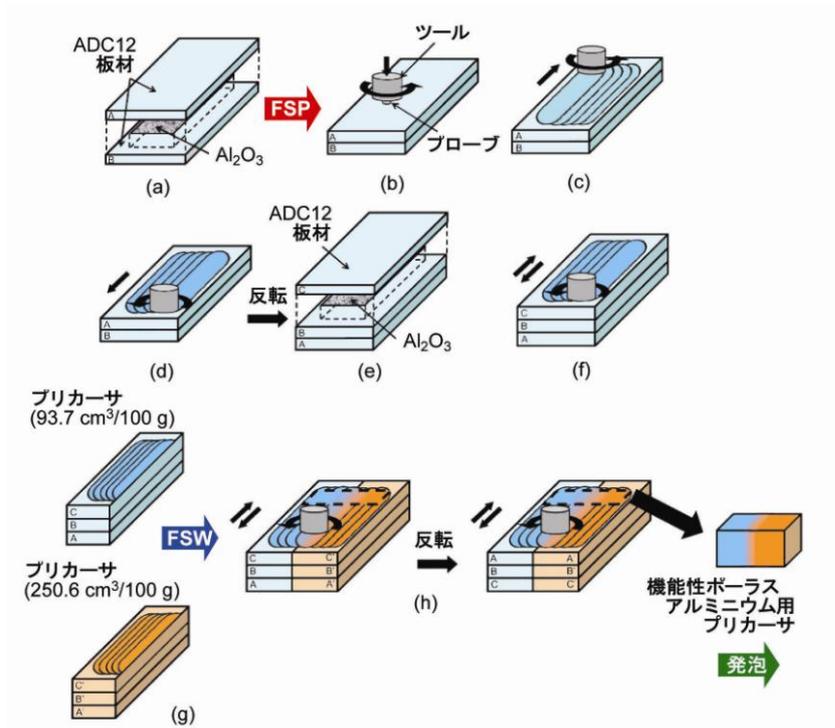
FSWを利用した作製法により、アルミニウム内部に発泡剤・気孔安定剤を攪拌混入させるとともに鋼板と重ね合わせ接合を行った。鋼板-アルミニウムのプリカーサを発泡させることにより、鋼板-ポラスアルミニウムのサンドイッチパネルの作製条件の検討を行った。これらの検討により、鋼板とポラスアルミニウム間の接合が強固なサンドイッチパネルの作製が可能となった。



摩擦攪拌法によるサンドイッチパネル作製手順

② 二種のアルミニウム合金からなる機能性ポーラスアルミニウムの作製技術

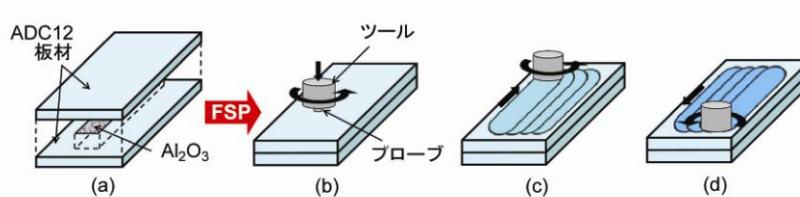
内部含有ガス量あるいは、攪拌混入させる発泡剤・気孔安定剤を変化させた二種類のアルミニウム合金をもとに、FSWを利用して作製したプリカーサを高温炉内で発泡させ、接合の良好な機能性ポーラスアルミニウムの作製を試みた。また、良好な気孔形態が保たれる発泡条件の設定法について検討を行った。これらの検討により、一個体内で気孔率・気孔形態が傾斜的に変化するポーラスアルミニウムの作製が可能となった。

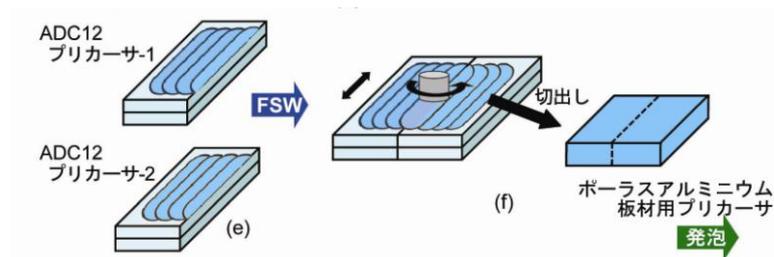


摩擦攪拌法による機能性ポーラスアルミニウム作製手順

③ 型内発泡ポーラスアルミニウムの作製技術

摩擦攪拌を利用した作製法を用いて、アルミニウム合金内部に発泡剤・気孔安定剤を攪拌混入させたプリカーサを、高温炉内において、板用の型内で発泡させポーラスアルミニウム板材の作製を試みた。その結果をもとに、プリカーサと型間の空間の最適値の設定に関する検討を行った。これらの検討をもとに、板厚4 mm程度（気孔率55%程度）のポーラスアルミニウム板材の作製が可能となった。

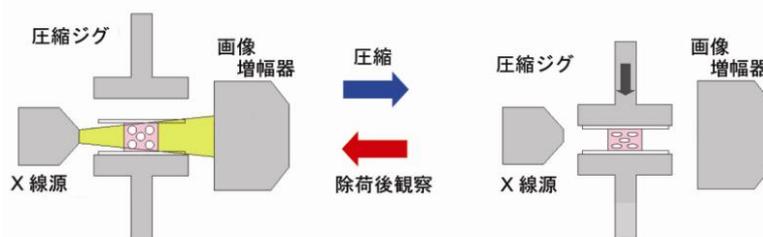




摩擦攪拌法によるポーラスアルミニウム板材の作製手順

④ 三次元観察をともなう圧縮特性評価

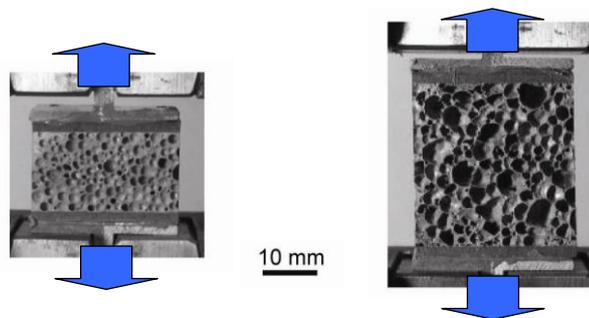
作製したポーラスアルミニウムより圧縮試験体を作製し、静的圧縮試験を行った。圧縮試験では、圧縮荷重の増加にともなう変形状態をX線CTにより撮像し、この結果をもとに内部気孔の変化を三次元的に把握し、ポーラスアルミニウムの局所圧潰特性を明らかにした。さらに、X線CT画像をもとにしたイメージベース有限要素解析結果と試験結果の比較を試みた。これらの結果より、ポーラスアルミニウムのX線CT画像とイメージベース有限要素解析をもとに、ポーラスアルミニウムの局所圧潰部位の予測が定性的ながら可能となった。



X線CT撮像をともなった圧縮試験法

⑤ ポーラスアルミニウム接合部の引張り/せん断強度特性評価

サンドイッチパネル界面を含む試験片を用いた引張り試験法およびせん断試験法を構築し、試験を実施した。これらの試験結果をもとに、界面にある金属間化合物層の強度とポーラスアルミニウム部の強度を比較検討した。その結果、(ポーラス部の強度) > (界面強度) の関係を有する(界面破壊が起こらない) サンドイッチパネルの作製が可能となった。



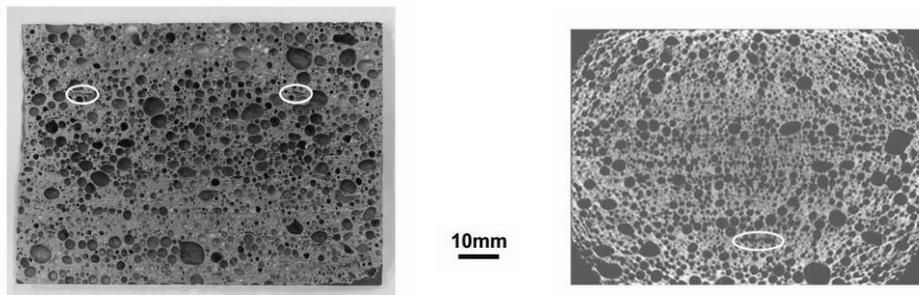
(a) 低気孔率 (b) 高気孔率
ポーラスアルミニウム接合部の引張り試験

2 予想される事業実施効果

本事業における研究は、摩擦攪拌接合（FSW）の単純・高速プロセス・省エネルギーといった優れた特長を利用し、ポーラスアルミニウムの量産技術の確立・高品質・低コスト化に寄与するものである。また、FSPを用いた本技術では、ポーラス化させる部分と緻密部位をシームレスな一体物としての作製が可能となるなど、接着剤の不使用やリサイクルが容易になるなど耐環境性の高い、高機能なポーラスアルミニウムの作製が可能となる。これらのポーラスアルミニウムの量産・低コスト化・高機能化技術が達成されることにより、自動車業界はじめ建築・航空宇宙・鉄道車両など様々な工業分野において、部材の超軽量化材料、また衝撃吸収材、吸音材、断熱材の材料としての利用を大きく拡大させることが可能である。

3 本事業により作成した印刷物等

① 宇都宮登雄，加藤弘規，半谷禎彦，桑水流理，吉川暢宏，ポーラスアルミニウム板材作製における摩擦攪拌プロセスの走査方法，[芝浦工業大学研究報告](#) 理工学編，Vol. 56 No. 1, p. 37-42, (2012).



ポーラスアルミニウム板材の気孔形態

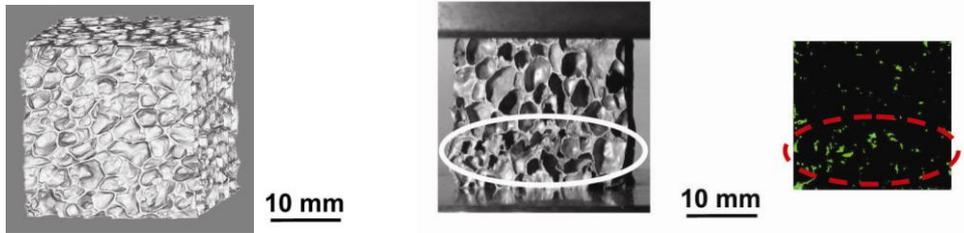
板材のX線CT画像

摩擦攪拌法により、気孔率54%、気孔の平均相当円直径0.97 mmの比較的小さな気孔がポーラスアルミニウム板全体に存在する63 mm×88 mm×4 mm程度のポーラスアルミニウム板材を作製することができた。

② 半谷禎彦，石井伸幸，小山真司，宇都宮登雄，北原総一郎，摩擦攪拌法による発泡剤不使用ADC12ポーラスアルミニウムと緻密鋼材の複合構造部材の作製，[日本金属学会誌](#)，76巻，p. 349-354, (2012).

摩擦攪拌法により、気孔率60%程度で、良好な気孔形態を有するADC12ポーラスアルミニウムと緻密鋼板の複合構造部材が作製できた。ADC12と鋼板界面に20 μm程度のFe-Al系およびFe-Al-Si系金属間化合物層が確認された。

- ③ 山口亮, 半谷禎彦, 高橋俊也, 宇都宮登雄, 桑水流理, 吉川暢宏, ポーラスアルミニウムX線CTイメージベース有限要素解析による圧縮特性調査, 日本金属学会 2011年秋期(第149回)大会, Poster Session 384, (2011/11/7).

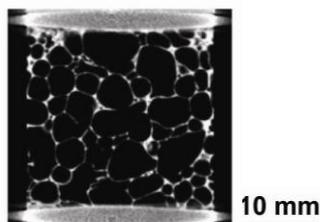


CT画像を基づく3次元モデル

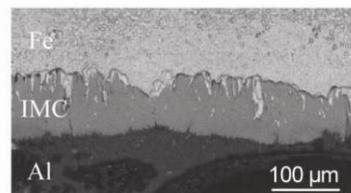
圧潰部と有限要素解析による応力分布の比較

圧縮試験で局所的に圧潰している部分と高い応力が分布している部分がほぼ対応した。ポーラスアルミニウムが圧潰する部位は、圧縮試験のイメージベース有限要素解析を行うことで定性的に予測可能となった。

- ④ 石井伸幸, 半谷禎彦, 小山真司, 宇都宮登雄, 桑水流理, 吉川暢宏, 摩擦攪拌法により作製したポーラスAl/緻密鋼板サンドイッチパネルの気孔率と破断部位の関係, 日本金属学会 2011年秋期(第149回)大会, Poster Session 385, (2011/11/7).
- ⑤ 加藤弘規, 半谷禎彦, 宇都宮登雄, 北原総一郎, 桑水流理, 吉川暢宏, 発泡剤不使用傾斜機能ADC12ポーラスAlの作製, 日本金属学会 2011年秋期(第149回)大会, Poster Session 390, (2011/11/7).
- ⑥ 山口亮, 半谷禎彦, 高橋俊也, 宇都宮登雄, 桑水流理, 吉川暢宏, X線CTイメージベースモデリングによるポーラスアルミニウムの圧縮特性調査, 軽金属学会 第121回秋期大会講演概要, p. 317, (2011/11/12).
- ⑦ 石井伸幸, 半谷禎彦, 小山真司, 宇都宮登雄, 桑水流理, 吉川暢宏, 摩擦攪拌法により作製したポーラスAl/緻密鋼板サンドイッチパネルの強度に及ぼす金属間化合物の影響, 軽金属学会 第121回秋期大会講演概要, p. 319, (2011/11/12).



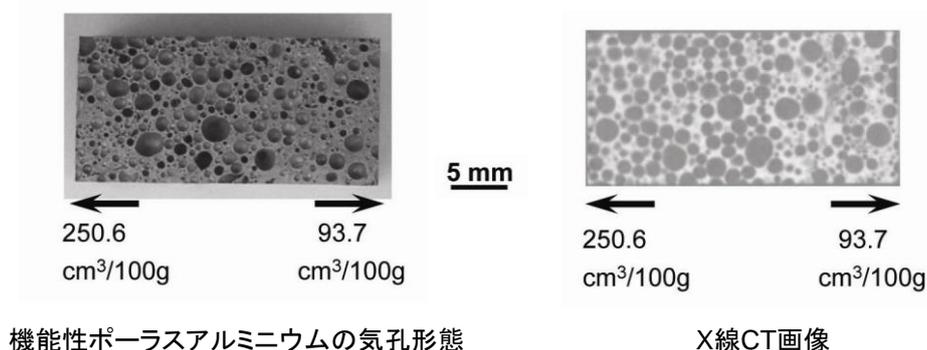
サンドイッチパネルのX線CT画像



界面接合部の反射電子像

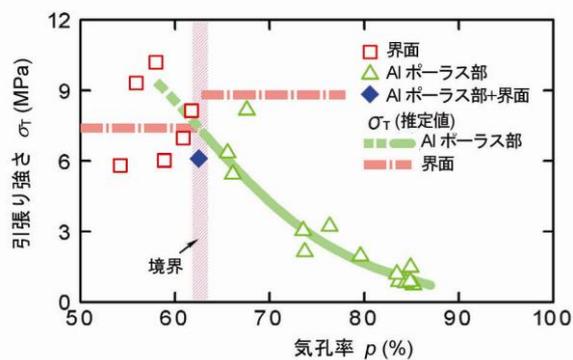
摩擦攪拌法により、気孔率84%程度で、比較的均一な気孔形態を有するポーラスアルミニウム部と緻密鋼板が強固に接合したサンドイッチパネルの作製が可能となった。界面近傍には数十 μm のFe-Al系金属間化合物が生成されていたが、破壊はポーラスアルミニウム部で発生した。

- ⑧ 齋藤公佑, 半谷禎彦, 宇都宮登雄, 桑水流理, 吉川暢宏, A1050-ADC12傾斜機能ポーラスアルミニウムの作製とその圧縮特性, 軽金属学会 第121回秋期大会講演概要, p. 261, (2011/11/13).
- ⑨ 鎌田裕仁, 半谷禎彦, 宇都宮登雄, 桑水流理, 吉川暢宏, FSP法による発泡剤不使用のポーラスAlの作製およびその機械的性質の評価, 軽金属学会 第121回秋期大会講演概要, p. 265, (2011/11/13).
- ⑩ 加藤弘規, 高橋和也, 半谷禎彦, 宇都宮登雄, 北原総一郎, 桑水流理, 吉川暢宏, 内部ガスを利用したADC12発泡剤不使用傾斜機能ポーラスAlの作製, 軽金属学会 第121回秋期大会講演概要, p. 267, (2011/11/13).



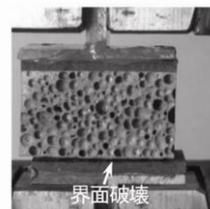
摩擦攪拌法により、内部含有ガス量の異なる二種類のADC12を用いて、内部でほぼ同一の気孔径を有し、気孔率のみ変化を持たせるような機能性ポーラスアルミニウムが作製可能となった。

- ⑪ 山口亮, 半谷禎彦, 高橋俊也, 宇都宮登雄, 桑水流理, 吉川暢宏, X線CTイメージベース有限要素解析によるポーラスアルミニウムの圧潰挙動予測, 日本金属学会 2012年春期大会, 465, (2012/3/29).
- ⑫ 石井伸幸, 半谷禎彦, 小山真司, 宇都宮登雄, 桑水流理, 吉川暢宏, ポーラスAl/緻密鋼板サンドイッチパネルの気孔率と界面破断の関係, 日本金属学会2012年春期大会, 468, (2012/3/29).

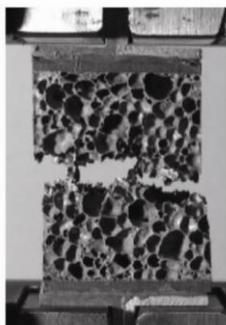


引張り強さと気孔率の関係

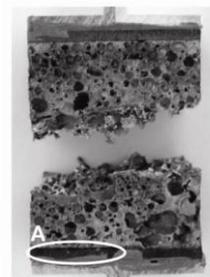
ポーラスアルミニウム部の気孔率が65%以上であれば、界面破壊を起こすことのない信頼性の高い緻密鋼板/ポーラスアルミニウムサンドイッチパネルが摩擦攪拌法により作製可能である。



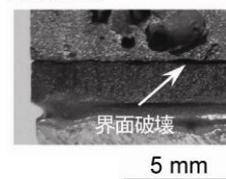
(a) 界面破壊 10 mm



(b) ポーラス部の破壊



A部詳細



(c) 界面破壊をともなったポーラス部の破壊

三つの破壊形態

4 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 芝浦工業大学 先端工学研究機構

(シバウラコウギョウダイガク センタンコウガクケンキュウキコウ)

住所： 〒337-8570

埼玉県さいたま市見沼区深作307

申請者： 宇都宮 登雄 (ウツノミヤ タカオ)

担当部署： 複合領域産学官民連携推進本部

(フクゴウリョウウイキサンカンミンレンケイスイシンホンブ)

E-mail : sangaku@ow.shibaura-it.ac.jp

URL : <http://www.sic.shibaura-it.ac.jp/~utunomiy/>